

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук
Строма Александра Леонидовича
на тему: «Каменные лавины Центральной Азии: особенности строения,
закономерности формирования и катастрофические последствия»
по специальности 1.6.7 – «инженерная геология, мерзлотоведение и
грунтоведение»

Диссертация А.Л. Строма посвящена весьма важной научной проблеме – изучению каменных лавин в горных районах Центральной Азии, установлению закономерностей их формирования и движения, связи с сейсмичностью, а также особенностям морфологии и внутреннего строения отложений каменных лавин.

Работа состоит из введения, восьми глав и заключения, список использованной литературы и данных весьма обширен и содержит 658 название. Общий объем работы составляет 341 страницу.

Во **введении** обоснована актуальность работы, сформулирована цель, задачи и научная новизна исследований, показаны теоретическая, методическая и практическая значимость полученных результатов, представлены положения, выносимые на защиту, показан личный вклад автора и апробация работы.

Оползневые процессы (зачастую сейсмогенного происхождения), происходящие в результате обрушения склонов, сложенных скальными грунтами, представляют собой одно из наиболее опасных природных явлений в горных районах. При определенных условиях такие процессы развиваются в каменные лавины, обладающие высокой подвижностью и способные проходить расстояние до первых десятков километров, покрывая территорию в десятки квадратных километров, приводящие к большим человеческим жертвам и разрушениям. В результате воздействия каменных лавин создаются также высокие завальные плотины в горных долинах, также представляющие

большую опасность в случае их прорыва. Изучение этих явлений, которому посвящена диссертация, имеет важнейшее значение для обеспечения безопасности людей, проживающих в горных и предгорных районах мира, и является одной из актуальных проблем инженерной геодинамики. Таким образом, **актуальность** данного исследования весьма значительна, хорошо **обоснована** и не вызывает сомнений.

Цель и задачи работы соответствуют современному направлению и уровню инженерно-геологических исследований, как в данном регионе, так и в мире в целом. Формулировка целей и задач в целом дает возможность понять логику исследования и четкую последовательность действий, которые автор считает необходимым выполнить для решения поставленной проблемы.

Методика работы, а также используемые **данные и материалы** соответствуют поставленным целям и задачам и отвечают современным подходам в инженерной геологии и геодинамике. Важно отметить, что в работе применяется целый комплекс разнообразных современных методов исследования: обширные и детальные полевые исследования, проведенные автором как в горных районах Центральной Азии, так и в горных районах ряда других регионов мира, дешифрирование космических снимков высокого разрешения, анализ цифровых моделей рельефа, определение геометрических параметров исследуемых оползней и каменных лавин, ГИС-технологии для интегрирования и комплексного анализа данных, лабораторные исследования, составление сводной базы данных оползней и каменных лавин региона. В работе широко использованы как литературные источники и информация из открытых баз данных.

Первая глава посвящена краткой истории изучения крупномасштабных оползней в скальных массивах и каменных лавин. Рассмотрены основные направления изучения каменных лавин, дается обзор исследований предшественников по изучению крупных оползней в скальных массивах и каменных лавин Центральной Азии. Показано, что дискуссионными остаются многие вопросы, касающиеся выделения каменных лавин, определения условий

их образования, понимания механизмов их крайне высокой подвижности, а также оценки их опасности, что и определяет направления исследований в данной работе.

В главе 2 охарактеризованы основные особенности исследуемого региона: рельеф, геология и тектоника, новейшая тектоника и геоморфология, сейсмичность (включая инструментальные, исторические и палеосейсмологические данные), гидрометеорологические и гидрологические данные. Показано, что условия, характерные для горных и предгорных районов Центральной Азии, создают предпосылки для формирования крупных оползней и каменных лавин.

В главе 3 подробно описаны особенности структуры и внутреннего строения отложений каменных лавин. Отмечено сохранение взаимного положения обломков пород, вовлеченных в обрушение, в отложениях каменных лавин. Рассмотрена возможность "отбрасывания" оползня от материнского массива как один из механизмов его формирования. Представлены результаты изучения гранулометрического состава отложений каменных лавин. Показано, что характерным для каменных лавин является двучленное строение каменных лавин с нижней (внутренней) сильно раздробленной частью (ядром) и верхним (внешним) покровом из намного более грубообломочного материала и/или гигантских, сравнительно слабо деформированных блоков ("панцирная фация"), а также (не всегда) базальная фация. Такое строение является одним из важных факторов, влияющих на устойчивость и длительность существования завальных плотин, образованных каменными лавинами. Отмечено, что обломки пород разного состава, вовлеченных в обрушение, не перемешиваются, что позволяет характеризовать движение каменных лавин как высокоскоростное "ламинарное" течение сухих обломочных потоков, что представляется важным результатом данной работы. Описаны моларды как отражение процессов, развивающихся при движении каменных лавин. Рассмотрено взаимодействие каменных лавин с их основанием. Представлены результаты экспериментов по воспроизведению

процессов, которые могут объяснить особенности формирования и структуры внутренней фации отложений каменных лавин, в которых показано, что наблюдаемое в природе сочетание интенсивного дробления обломочного материала с сохранением исходной макроструктуры массива может быть реализовано при одновременном воздействии циклических деформаций сжатия-снятия нагрузки и сдвига. Описанные особенности должны учитываться при разработке математических или физических моделей, призванных объяснить механизмы аномально высокой подвижности каменных лавин.

Изложенный в главе материал позволяет сформулировать **первое и третье** защищаемые положения, которые представляются в достаточной степени **обоснованным и доказанным**.

В **четвертой** главе приводятся признаки, позволяющие отличать каменные лавины от образований иного генезиса: ледниковых отложений, каменных глетчеров, аномально больших конусов выноса, результатов обрушения высоких горных склонов в областях современного оледенения. Показано, что комплексный анализ морфологии областей питания и аккумуляции обломочных отложений в горных и предгорных регионах и особенностей внутреннего строения этих отложений позволяет уверенно отличать каменные лавины от обломочных отложений разного генезиса, широко распространенных в горных и предгорных районах иного генезиса. На основании применения описанного анализа сформулированы принципы составления и создана база данных (БД) оползней и каменных лавин региона, включающая параметры и геологическое строение области питания (оползневого цирка), параметры, характеризующие оползень (каменную лавину) в целом, параметры высококомобильных каменных лавин и параметры завальных плотин и подпрудных озер, образующихся в результате схода каменных лавин. Представленная БД позволила охарактеризовать распространение оползней в скальных массивах и каменных лавин во всем Центрально-Азиатском регионе и может служить основой для определения зон

оползневой и сейсмической опасности, а также может быть пополнена и распространена на другие регионы.

Материал четвертой главы лег в основу **второго** защищаемого положения, которое является вполне **обоснованным и доказанным**.

Глава 5 посвящена рассмотрению типов каменных лавин и их комплексной классификации. Приводятся определения понятий «оползни в скальных массивах» и «каменные лавины» и обсуждается применяемая терминология. Рассматриваются основные типы оползней на высоких горных склонах и многостадийная классификация каменных лавин. Предлагаются морфологические классификационные критерии. Проводится классификация каменных лавин по условиям перемещения их материала, по характеру распределения материала по направлению его движения, по направленности их движения. Учет предлагаемых классификационных критериев позволяет перейти к комплексной многоуровневой морфологической классификации каменных лавин. Первый уровень представляет собой многостадийная классификация, учитывающая как механизм первоначального обрушения скального массива, так и его последующую трансформацию в каменную лавину. Далее каменные лавины подразделяются на типы и подтипы, в зависимости от ограничений на пути их движения и их характера, траектории движения каменной лавины и распределения материала по направлению движения. Учет морфологических особенностей отложений каменных лавин позволяет выделять их типы, различающиеся по степени опасности для объектов и субъектов риска, расположенных у подножий высоких горных склонов.

Все это позволяет сформулировать **четвертое** защищаемое положение, которое представляется хорошо **обоснованным и доказанным**.

Шестая глава посвящена анализу (в основном регрессионному) количественных соотношения между рядом параметров каменных лавин на основании статистических и регрессионных (главным образом степенных) моделей. Рассматривается распределение оползней по частоте встречаемости в

зависимости от их величины и представительность базы данных. Проводится учет влияния ограничений на пути распространения каменных лавин. На основании регрессионных соотношений (как одно-, так и двухпараметрических) между основными геометрическими параметрами: длина пробега оползня, высота оползня, его площадь (общая и отложений), объем, и их комбинаций, – выявляется оптимальная (с точки зрения наибольшего значения коэффициента корреляции) характеристика подвижности каменных лавин. В результате анализа показывается, что наилучшей характеристикой их подвижности является отношение либо общей площади, либо площади отложений к произведению объема на максимальную высоту смещения. Приводится убедительный пример проверки применимости полученных соотношений. Рассматриваются также характеристики подвижности вторичных каменных лавин. Полученные соотношения позволяют с приемлемой точностью прогнозировать размеры области поражения будущих каменных лавин при наличии данных о размерах и положении потенциально неустойчивого массива скальных грунтов, что может быть использовано для оперативной предварительной оценки оползневой опасности.

На основании анализа, проведенного в данной главе, формулируется **пятое** защищаемое положение, которое хорошо **обосновано и доказано**.

Глава 7 посвящена сейсмогенным оползням и каменным лавинам и критериям их выделения. Приводятся результаты обследования некоторых исторических сейсмогенных оползней Центральной Азии. Особое внимание уделяется проблеме обоснования сейсмического происхождения доисторических оползней в скальных массивах и критериям их выявления (размеры обрушений и аномально высокая подвижность каменных лавин, положение оползневого цирка на склоне, связь оползней и сейсмогенного разжижения грунтов, особенности морфологии оползневых цирков). В качестве важных критериев сейсмогенности рассматриваются одновозрастность крупных оползней в скальных массивах и их пространственно-временная

корреляция с активными разломами. Приводится пример комплексного анализа геолого-геоморфологических данных для обоснования сейсмического происхождения крупного оползня. Сделан вывод, что при изучении древних (доисторических), и даже современных, но не наблюдавшихся очевидцами, склоновых смещений необходим тщательный и всесторонний анализ всей совокупности доступных геолого-геоморфологических данных, позволяющих судить о причинах их возникновения. Это необходимо учитывать при планировании и проведении работ по оценке и оползневой и сейсмической опасности.

Материал седьмой главы лег в основу **шестого** защищаемого положения, которое является вполне **обоснованным и доказанным**.

Глава 8 посвящена катастрофическим последствиям каменных лавин и возможным способам их минимизации. Рассматриваются как опасность, обусловленная непосредственным воздействием каменных лавин, так и катастрофические последствия образования и прорыва завальных плотин, образованных лавинами (как доисторических, так и возможных в будущем), а также возможные превентивные мероприятия. Практически важной представляется оценка размеров области поражения, которая может производиться, в том числе, с использованием приводимых в работе количественных соотношений.

В **заключении** четко и ясно формулируются основные результаты диссертации, а также определяются основные направления дальнейшей работы.

Диссертация характеризуется значительной **новизной**, которая определяется тем, что впервые на основе единых методических принципов создана БД крупных оползней в скальных массивах Центральной Азии, проведена комплексная классификация каменных лавин, установлены основные закономерности морфологии и внутреннего строения каменных лавин, связанные с особенностями их движения, получены новые регрессионные соотношения между различными параметрами, характеризующими условия обрушения и последующего перемещения

каменных лавин, позволяющие прогнозировать возможные размеры области их поражения. Полученные в работе результаты имеют несомненное **теоретическое и практическое** значение.

В целом все результаты, выводы, полученные в работе, а также положения, выносимые на защиту, являются достаточно хорошо **обоснованными и достоверными**.

Однако к работе есть ряд **замечаний**. Задачи работы сформулированы так, что отчасти выглядят как результаты, что несколько необычно.

Четкая и исчерпывающая формулировка основных понятий и терминов (включая ключевые для данной работы «скальный оползень» и «каменная лавина») дается только в главе 5 (раздел 5.1), что достаточно странно. Представляется, что этот раздел, посвященный терминологии, должен быть в самом начале, а то термины применяются без определения (кроме краткого упоминания в историческом экскурсе).

Важным результатом работы является утверждение о ламинарном характере "сухого течения" обломочной массы, который определяет высокую подвижность каменных лавин. Однако из работы не вполне ясно, каков механизм такого "течения", а также формирования структуры оползневых тел? Различаются ли по механизмам течения и формирования «последовательных» и «псевдослоистых» оползневых тел? Для объяснения высокой подвижности и «выплескивания» материала каменных лавин рассматриваются «дополнительные» силы (типа баклинга или иных механизмов), предполагающих, по сути, локальное перераспределение первоначальной гравитационной энергии через упругую энергию частей цирка и/или основания в кинетическую энергию движения лавины (или ее частей). Не отрицаю возможности и этих механизмов. Однако не ясно, почему не обсуждается собственно механизм «сухого» трения, (посредством которого и должно, как представляется, реализовываться описанное в работе «сухого» течение) который обладает «самоускоряющимся» эффектом в некотором диапазоне скорости (или другой механизм со сходной зависимостью эффективного трения

от скорости)? Впрочем, это вопрос сложного и неоднозначного моделирования, для которого, как справедливо отмечено в работе, недостаточно данных по параметрам.

Не вполне ясно, почему сохраняется исходная последовательность отложений в теле лавины и почему резко разделяются панцирная и внутренняя фации, каковы механизмы? А это одни из важнейших результатов работы. Неясно, есть ли систематические различия в строении оползневых тел («последовательные», «псевдослоистые») лавин разных типы (подтипов) согласно классификации, предлагаемой в данной работе?

В разделе 7.2 при обсуждении сейсмогенной природы оползней справедливо сказано, что сами сейсмические колебания не могут оказать сколько-нибудь существенного влияния на его подвижность вследствие относительно небольшой энергии. Однако сейсмическое воздействие может быть триггером (резко снижая эффективное сцепление оползневой массы со склоном) для самого обрушения, а последующее движение оползневой массы - это уже динамический, причем самоускоряющийся, эффект, в котором могут проявляться, в том числе, те механизмы, о которых говорится в диссертации. Кроме того, протяженное воздействие сейсмических колебаний (эффект вибростола), хотя и недостаточно по времени для обеспечения более продолжительного движения лавины по склону, может способствовать разгону оползня (лавины) на начальном этапе, что должно способствовать механизму дробления материала в теле оползня и увеличивать его подвижность.

Более мелкие замечания: геометрические параметры (высота цирка и общая, длина и т.п.) хорошо бы пояснить в самом начале их анализа на схематичном рисунке, как это сделано например, на рис. 5.8. В главе 6, где строятся регрессионные соотношения не всегда ясно, какая функция использована для аппроксимации. Представляется целесообразным регрессионные соотношения выписать компактно, пронумеровать и приводить уравнения на графике. Не вполне понятен смысл суперкороткого раздела 8.3.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.6.7 – «инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение» (по геолого-минералогическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Стром Александр Леонидович заслуживает присуждения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.7 – «инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение».

Официальный оппонент: доктор геолого-минералогических наук, доцент, профессор кафедры динамической геологии геологического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

ЗАХАРОВ Владимир Сергеевич

27.04.2022

Контактные данные:

тел.: +7(495)939 25 51, e-mail: zakharov@geol.msu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 25.00.03 – «Геотектоника и геодинамика».

Адрес места работы: 119991, РФ, г. Москва, Ленинские горы, д.1, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», геологический факультет
Тел.: +7(495)9392551; e-mail: admin@geol.msu.ru

